

DESCRIPTIVE NOTES  
by L.W. Sobczak and J.F. Halperny

NOTICES EXPLICATIVES  
par L.W. Sobczak et J.F. Halperny

INTRODUCTION

INTRODUCTION

An isostatic anomaly map of Canada was prepared by Goodacre et al. (1987). This map is significantly more helpful in interpreting the geology than Bouguer anomaly maps as it correlates areas between isostatic anomalies and topography, whereas for Bouguer anomaly maps there is a shown correlation (the higher the topography the more negative are the Bouguer anomalies). These relationships have been discussed by Simpson et al. (1986a,b) for the conterminous United States and by Sobczak and Halperny (1990a,b) for the Arctic. For the United States, such isostatic anomalies were assumed to have no further significant relationships with topography (Simpson et al., 1986a,b). In the Arctic, however, significant correlations between isostatic anomalies and topography were found both on land and offshore regions (Sobczak and Halperny, 1990a,b). The isostatic anomaly map of Canada shows large areas of low and high gravity values to cover the interior and offshore regions of Canada, respectively. A comparison of isostatic anomalies and topography for Canada shows that, as in the Arctic, significant correlations exist. These relationships were removed from the isostatic anomaly map to produce a new type of anomaly map called the Enhanced Isostatic Anomaly Map (Sobczak and Halperny, 1990b).

The gravity data used in the preparation of this map consist of approximately 500 000 measurements publicly available from the National Gravity Data Base as of 1 July 1989. Gravity data for parts of the northern Axel Heiberg and Ellesmere islands have been added since. Gravity values are based on the Geodetic Reference System 1987 (International Association of Geodesy, 1971) and are referenced to the International Gravity Standardization Net 1971 (Morrell et al., 1974). The precision in the measurement of anomalies is in the order of 2 mGal, with the main contributing factor being the difficulty in determining station elevation or water depth. Elevations and water depths are also available in the gravity data set and were used in the determination of the relationships between isostatic anomalies and topography. The gravity data were gridded at a 5 km interval. All gravity values contained in a particular cell (5 by 5 km) were averaged to obtain a representative value for that cell. To bridge gaps in the data grid, a search is made from each filled cell out to a distance of 40 km. If other cells with representative gravity values are found, a linear or quadratic interpolation scheme is used. Otherwise, empty regions spanning more than about 40 km are left uncoloured.

The map utilizes the topographic base used by Haines and Newitt (1986). It has been modified by adding the bathymetric contour data from the same area as outlined in the National Atlas of Canada, 5th edition (1982).

Une carte des anomalies isostatiques du Canada a été dressée par Goodacre et al. (1987). Cette carte est beaucoup plus utile pour l'interprétation géologique que les cartes de l'anomalie de Bouguer puisque la corrélation est faible entre les anomalies isostatiques et la topographie alors qu'il existe une corrélation évidente entre l'anomalie de Bouguer et la topographie (plus l'altitude est élevée et plus la valeur de l'anomalie de Bouguer est négative). Ces relations ont été discutées par Simpson et al. (1986a, b) pour les États contigus des États-Unis et par Sobczak et Halperny (1990a, b) pour les États cotiers des États-Unis. Il est apparu qu'il n'y a aucune autre relation importante entre ces anomalies isostatiques et la topographie (Simpson et al., 1986a, b). Dans l'Arctique d'importantes corrélations sont toutefois constatées entre les anomalies isostatiques et la topographie. Ces corrélations ont été supprimées de la carte des anomalies isostatiques et de la topographie pour produire une nouvelle carte appelée «carte des anomalies isostatiques rehaussées» (Sobczak et Halperny, 1990b).

Les données gravimétriques utilisées pour la préparation de la présente carte consistent en approximativement 500 000 mesures qui sont facilement accessibles à un grand nombre d'utilisateurs depuis le premier juillet 1989 dans la Base nationale de données gravimétriques. Les données gravimétriques pour le Yukon septentrional et les îles Axel Heiberg et d'Ellesmere ont été ajoutées depuis. Les valeurs de la gravité sont basées sur le Système géodésique de référence de 1987 (Association internationale de géodésie, 1971) et référencées au Réseau de normalisation international de la gravité de 1971 (Morrell et al., 1974). La précision de mesure des anomalies est de l'ordre de 2 mGal. Le principal facteur limitant la précision est la difficulté de la mesure de l'altitude ou de la profondeur de la station. Les altitudes et les profondeurs de l'eau sont également disponibles dans la base de données gravimétriques et ont été utilisées pour déterminer les relations entre les anomalies isostatiques et la topographie.

Les données gravimétriques ont été portées sur une grille à des intervalles de 5 km. Le moyennage de toutes les valeurs de la gravité à l'intérieur d'une cellule donnée (5 km sur 5 km) a été utilisé de manière à obtenir une valeur représentative pour la cellule. Afin de combler les vides de la grille, une recherche a été effectuée à partir de chaque cellule pour laquelle une valeur était disponible jusqu'à une distance de 40 km. Si existait d'autres cellules avec des valeurs représentatives de la gravité, une interpolation linéaire ou quadratique était effectuée. Par ailleurs, les régions sans données sur plus de 40 km n'ont pas été colorées.

La carte a été dressée d'après la base topographique utilisée par Haines et Newitt (1986). Cette base a été modifiée par l'addition, pour les océans voisins, des courbes bathymétriques telles que relevées dans la 5<sup>e</sup> édition de l'Atlas national du Canada (1982).

**THE ENHANCED ISOSTATIC ANOMALY MAP**

Mean isostatic anomalies, usually with standard deviations of less than 0.5 mGal (Sobczak and Halperny, 1990b), were determined with respect to the rock equivalent topography in increments of 100 m over land and ocean (Fig. 1). Rock equivalent topography is the elevation of the land surface above sea level, but in the case of water, the water depth is expressed as an equivalent thickness of rock of density 2.67 Mg/m<sup>3</sup> and subtracted from the bathymetric depth. Linear regression lines of the form  $y = a + bx$  where  $y$  values are the mean isostatic anomalies and  $x$  values are the 100 m increments rock equivalent topographic values. Four linear relationships were determined for various sections of the onshore and offshore regions as shown in Figure 1. We suggest that the negative regional gravity effects (Fig. 1) are due to residual crustal roots remaining after deglaciation; that the crust is thicker than required to satisfy Airy-type isostatic compensation for the present topography. The positive regional effects, occurring mainly over the oceanic regions, are attributed to a relatively young oceanic crust caused by a hotter mantle which keeps the mantle surface closer to sea level. In oceanic regions where the crust is older than about 100 Ma the mantle has had sufficient time to cool and subside. Thus, the positive regional effects are not observed.

There are two distinct offsets of these linear regression lines, one offshore at a water depth of 2 200 m and the other is onshore at an elevation of 2 200 m. We postulate that the offshore offset is due to an edge effect related to the boundary between oceanic and continental crusts. At this water depth, on the enhanced isostatic anomaly map, a change in gravity character occurs: positive striped-like gravity anomalies occur over the deep-sea regions, whereas negative anomaly domains characterize the inshore regions. The onshore offset probably marks the limit of glacialation. No matter what causes these linear relationships between the isostatic anomalies and topography, the important conclusion is that they are unrelated in the process of producing enhanced isostatic anomalies. Thus, by design, the enhanced isostatic anomalies have no relationship to topography.

We would like to draw attention to the high degree to which negative anomalies (on the isostatic map) have been minimized (or the enhanced isostatic map) in central Canada, (2) the enhancement of the positive anomalies over the Phanerozoic cover of Canada, and (3) how the gravity character has been emphasized over the oceanic regions. To demonstrate how geologically related anomalous parts of the gravity field have been enhanced and how correlations between topography and anomalies have been minimized, the enhanced isostatic map of Canada is shown in Figure 2. This profile shows the variation of topography, free-air, Bouguer, isostatic and enhanced isostatic anomalies. Obviously, from inspection of Figure 2, the enhanced isostatic anomalies are best suited to outline the intra-crustal density variations, which in turn, reflect variations in geology.

**LA CARTE DES ANOMALIES ISOSTATIQUES REHAUSSÉES**

Les anomalies isostatiques moyennes ont été déterminées, habituellement avec des écarts-types inférieurs à 0,5 mGal (Sobczak et Halperny, 1990b), en tenant compte de la masse rocheuse équivalente au-dessus, des terres et des océans à des intervalles de 100 m (Fig. 1). La masse rocheuse équivalente correspond à l'altitude au-dessus des terres, mais sur l'eau les profondeurs de l'eau sont exprimées sous forme d'une épaisseur équivalente de roche d'une masse volumique de 2,67 Mg/m<sup>3</sup> et soustraites de la profondeur bathymétrique. Des droites de régression de la forme  $y = a + bx$ , dans lesquelles la variable  $y$  représente les anomalies isostatiques moyennes et la variable  $x$  les masses rocheuses équivalentes par intervalle de 100 m, ont été établies pour diverses parties des régions côtières et extracôtières comme le montre la fig. 1. Les auteurs suggèrent que les effets gravimétriques régionaux négatifs (fig. 1) sont attribuables à des roches crustales résiduelles après la déglaciation; c'est-à-dire que la croûte est trop épaisse pour satisfaire aux conditions d'une compensation d'Airy appliquée à la topographie actuelle. Les effets régionaux positifs, observés principalement dans les régions océaniques, sont attribués à un amincissement de la croûte océanique relativement jeune causé par un manteau plus chaud et qui garde la surface du manteau plus près du niveau de la mer. Dans les régions océaniques où la croûte est plus âgée que d'environ 100 Ma, il est écoulé un intervalle suffisant pour que le manteau se refroidisse et s'affaisse. Ainsi, les effets régionaux positifs ne sont pas observés.

Il existe deux discontinuités distinctes de ces droites de régression; l'une se situe au large par une profondeur d'eau de 2 200 m et l'autre sur les terres à une altitude de 2 200 m. Les auteurs formulent l'hypothèse que la discontinuité au large est attribuable à un effet de bordé relatif à la limite entre la croûte océanique et la croûte continentale. À cette profondeur d'eau, on observe sur la carte des anomalies isostatiques rehaussées, un changement de caractère de la gravité; il y a des anomalies gravimétriques positives apparentes à des profondeurs dans les océans plus profonds alors que les régions littorales sont caractérisées par des anomalies négatives. La discontinuité sur les terres marque probablement la limite de la glaciation. Quelle que soit la cause de ces relations linéaires entre les anomalies isostatiques et la topographie, ce qui est important est de constater qu'elles sont éliminées dans le processus de production des anomalies isostatiques rehaussées. Ainsi, de par leur conception, les anomalies isostatiques rehaussées ne sont aucunement reliées à la topographie.

Les auteurs aimeraient souligner (1) à quel point les anomalies négatives (sur la carte des anomalies isostatiques) ont été minimisées (sur la carte des anomalies rehaussées) dans la partie centrale du Canada, (2) l'accentuation des anomalies positives sur la couverture phanérozoïque au Canada et (3) dans quelle mesure le caractère de la gravité est bien accentué dans les régions océaniques. Pour démontrer comment des parties anomales géologiquement reliées du champ de pesanteur ont été accentuées et comment les corrélations entre la topographie et les anomalies ont été minimisées, un profil montre les variations de la topographie et des anomalies à l'air libre, de Bouguer, isostatiques et isostatiques rehaussées. Il est évident à l'examen de la fig. 2 que les anomalies isostatiques rehaussées sont celles qui conviennent le mieux pour souligner les variations de densité intracrustales et à leur tour reflètent les variations de la géologie.

**SUMMARY**

The enhanced isostatic map employs (i) the free-air correction, which compensates for the height of the observation point above or below sea level; (ii) the Bouguer correction, which removes the gravitational effect of the topography above or below sea level, and which in the case of water-covered areas also accounts for the mass deficiency of water as compared to rock; (iii) an isostatic correction, which assumes that topographic loads at the Earth's surface are supported by corresponding mantle thermal effects. The enhanced isostatic anomalies emphasize the relationship as determined for Canada, which corrects for effects of glacial loading and mantle thermal effects. The enhanced isostatic anomalies emphasize the relationship as determined for Canada, which corrects for effects of glacial loading and mantle thermal effects. The enhanced isostatic anomalies emphasize the relationship as determined for Canada, which corrects for effects of glacial loading and mantle thermal effects.

**SUMMARY**

La carte des anomalies isostatiques rehaussées fait intervenir la correction à l'air libre qui tient compte de la hauteur du point d'observation au-dessus ou au-dessous du niveau de la mer; ii) la correction de Bouguer qui élimine l'effet gravitationnel de la topographie au-dessus ou au-dessous du niveau de la mer et, dans le cas des étendues recouvertes d'eau, qui tient également compte de la différence de masse entre l'eau et la roche; iii) une correction isostatique qui suppose que les charges topographiques à la surface de la Terre sont supportées par des masses compensatrices correspondantes à une profondeur approximative de 30 km et iv) une relation régionale déterminée pour le Canada qui tient compte des effets de la charge glaciaire et des effets thermiques du manteau. Les anomalies isostatiques rehaussées mettent en évidence l'effet gravitationnel d'entités géologiques de la partie supérieure de la croûte terrestre.

**REFERENCES**

Goodacre, A.K., Rief, R.A., and Halperny, J.F.  
1987. Isostatic Gravity Anomaly Map of Canada. Geological Survey of Canada, Canadian Geophysical Atlas, Map 4, scale 1:10 000 000.

Haines, G.V., and Newitt, L.R.  
1986. Canadian Geomatics Reference Field 1986. Journal of Geomagnetism and Geoelectricity, v. 38, p. 89-92.

International Association of Geodesy  
1971. Geodetic Reference System 1967. Bulletin.

Morrell, C., Gattar, C., Honkasilta, T., McConnell, R.K., Tanner, J.G., Saabo, B., Uotila, U., and Whalen, C.T.  
1974. The international gravity standardization net 1971 (IGSN 71). The International Association of Geodesy Special Publication No. 4, 194 p.

National Atlas of Canada  
1982. National Atlas of Canada, 5th Edition, Scale 1:7,500,000. Canada Map Office, Energy, Mines and Resources Canada, Ottawa, MCR 4032.

Simpson, R.W., Jachens, R.C., Salsus, R.W., and Bakely, R.J.  
1986a. Isostatic residual gravity, topographic, and free-air/derivative gravity maps of the conterminous United States. Department of the Interior, United States Geological Survey, Map GP-975.

Simpson, R.W., Jachens, R.C., and Bakely, R.J.  
1986b. A new isostatic residual gravity map of the conterminous United States with a discussion on the significance of isostatic residual anomalies. Journal of Geophysical Research, v. 91 (B6) p. 8348-8372.

**REFERENCES**

Sobczak, L.W., and Halperny, J.F.  
1990a. Isostatic and enhanced isostatic gravity maps of the Arctic. Geological Survey of Canada, Paper 89-16, 10 p.

1990b. Gravity anomaly maps of the Arctic. Free-air, Bouguer, isostatic and Enhanced Isostatic Marine Geology, Special Issue on Arctic Geoscience, v. 93, no. 1-4, p. 15-41.

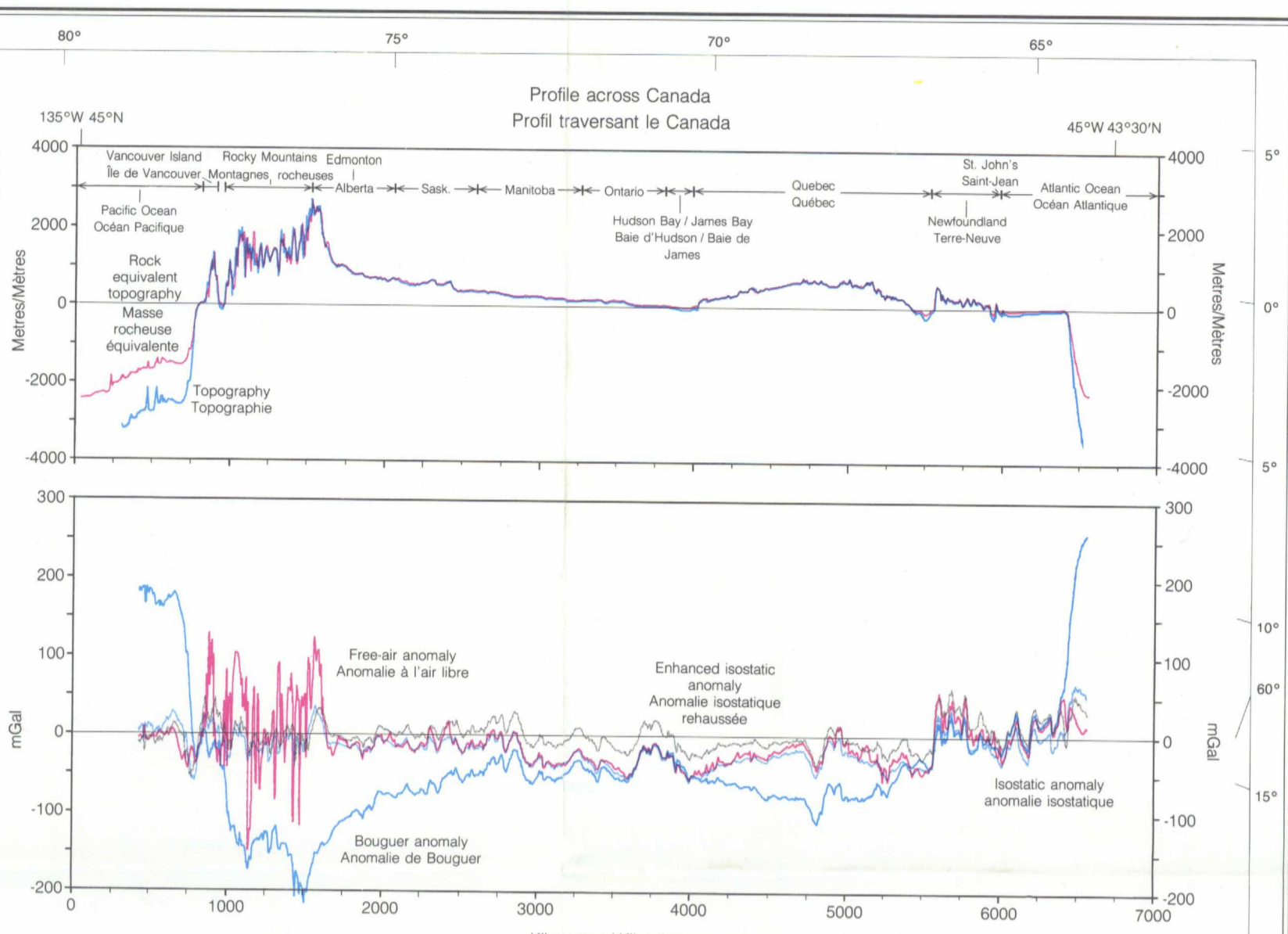
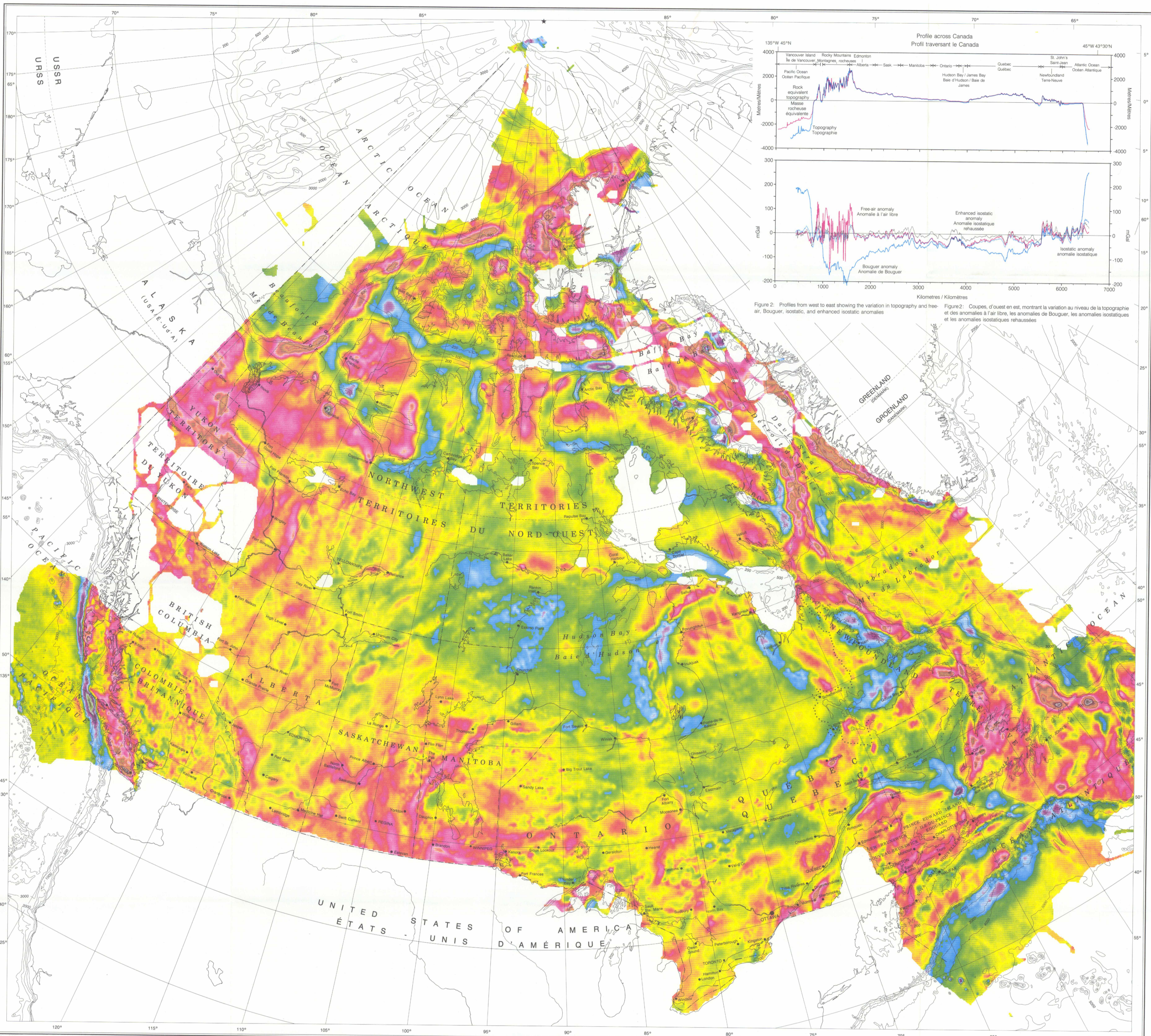
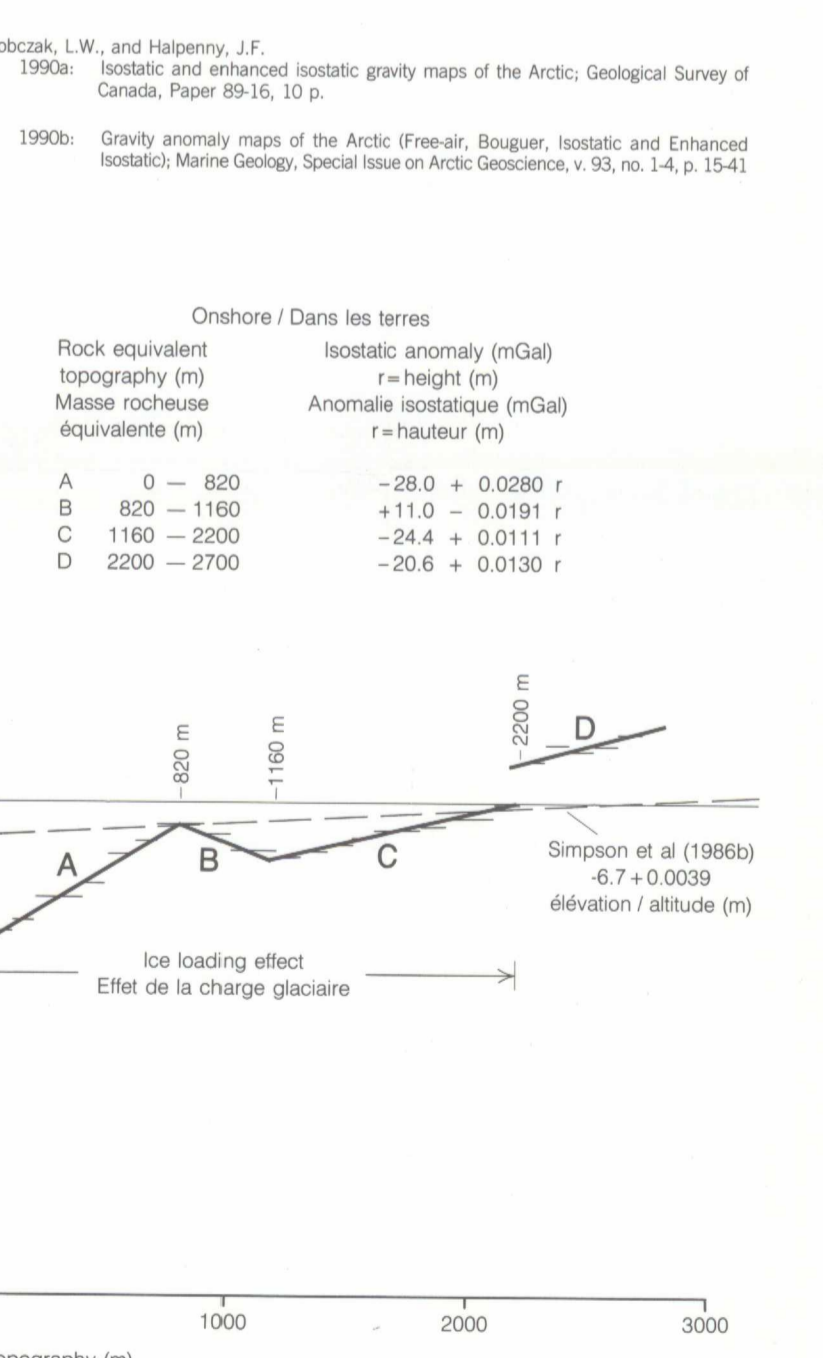
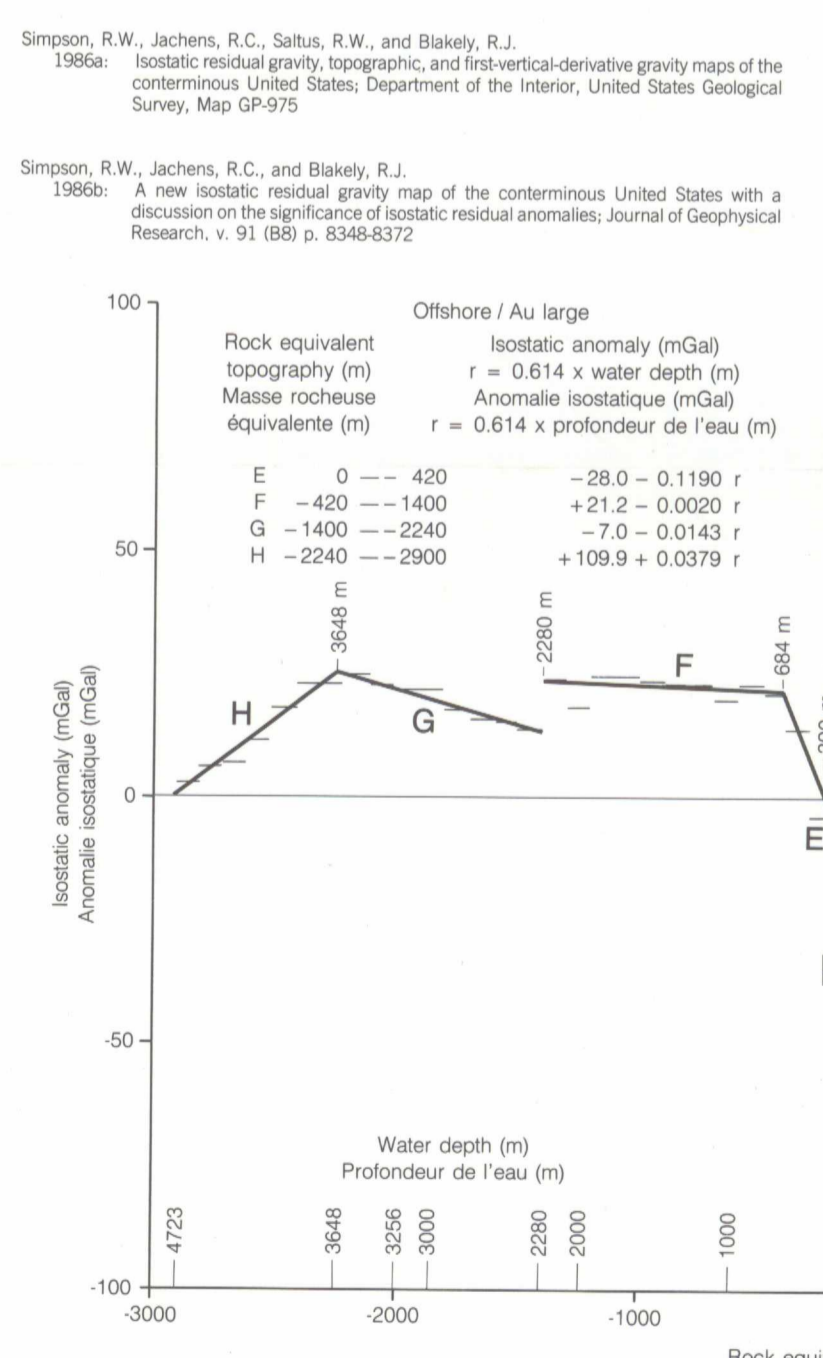


Figure 2: Profils from west to east showing the variation in topography and free-air, Bouguer, isostatic, and enhanced isostatic anomalies.

MAP 1805A CARTE  
**ENHANCED ISOSTATIC GRAVITY ANOMALY MAP OF CANADA**  
**CARTE DES ANOMALIES GRAVIMÉTRIQUES ISOSTATIQUES REHAUSSÉES DU CANADA**

Scale 1:10 000 000 - Échelle 1/10 000 000  
Kilometres 250 0 250 500 750 Kilometres  
Lambert Conformal Conic Projection, Standard Parallels 49°N and 77°N  
Projection conique conforme de Lambert, Parallèles d'échelle conservés 49°N et 77°N

Compiled by the Geophysical Data Centre, Geological Survey of Canada  
For further information about the gravity field of Canada, contact the Continental Geoscience and Geophysics Division, Geological Survey of Canada, Department of Energy, Mines and Resources, 1 Observatory Crescent, Ottawa, Ontario, K1A 0Y3

Complète par le Centre des données géophysiques, Commission géologique du Canada  
Pour plus de renseignements au sujet du champ de la pesanteur au Canada, communiquez avec la Division de la géologie du continent et de la géophysique, Commission géologique du Canada, Ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources au 1, place de l'Observatoire, Ottawa, Ontario K1A 0Y3

Recommended citation:  
Sobczak, L.W., and Halperny, J.F.  
1992. Enhanced Isostatic Gravity Anomaly Map of Canada. Geological Survey of Canada, Map 1805A, scale 1:10 000 000

Notation bibliographique conseillée:  
Sobczak, L.W., et Halperny, J.F.  
1992. Carte des anomalies gravimétriques isostatiques rehaussées du Canada. Commission géologique du Canada, Carte 1805A, échelle 1/10 000 000